

2. Ligações com Parafusos



2.1. Tipos de conectores

2.1.1. Rebites

São conectores instalados a quente, o produto final possui duas cabeças.

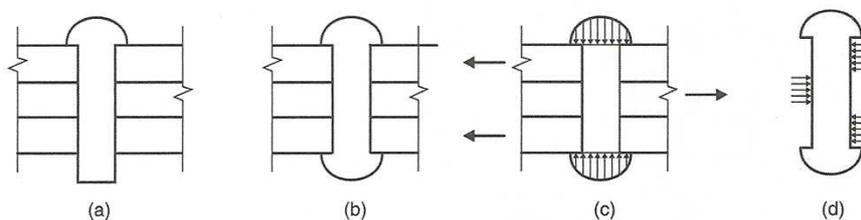


Fig. 3.1 Rebite. (a) Colocação do rebite no furo após seu aquecimento até uma temperatura de cerca de 1000°C. (b) Formação da cabeça arredondada por martelamento (em geral com ferramenta pneumática) e com escoramento do lado da cabeça pré-formada. (c) Com o resfriamento, o rebite encolhe apertando as chapas. (d) Rebite trabalhando a corte.

São calculados:

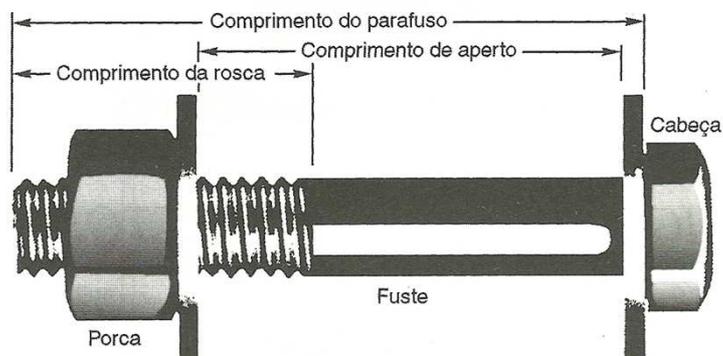
- Pelos esforços transmitidos por apoio do fuste nas chapas;
- e por corte na seção transversal do fuste (d).

As ligações rebitadas deixaram de ser utilizadas há anos em razão de:

- Utilização de mão de obra especializada;
- Instalação lenta;
- Pequena capacidade resistente e com grande variabilidade;
- Dificuldade para inspeção.

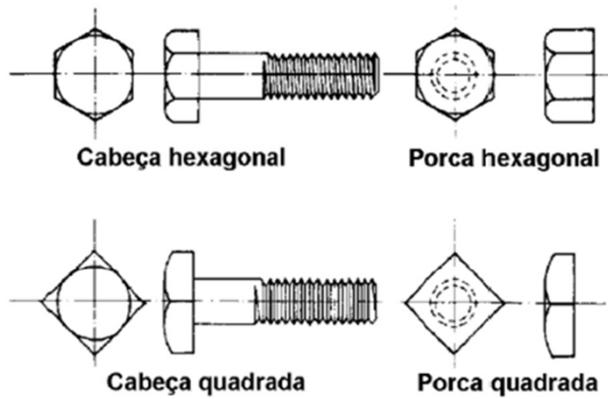
2.1.2. Parafusos comuns

Os parafusos comuns são forjados em aço-carbono de baixo teor de carbono (ASTM A307). Eles tem numa extremidade uma cabeça quadrada ou sextavada e na outra uma rosca com porca.



Calculado através de tensões de apoio e corte.

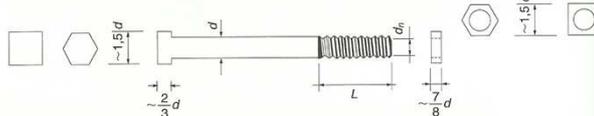
Os parafusos comuns ASTM A307 são empregados em estruturas secundárias onde as cargas são de pequenas intensidades e de natureza estática como em perfis de contraventamentos, em plataformas, em passarelas, em terças e em vigas de tapamento.



O emprego de arruela facilita o aperto nas ligações, porém o seu uso não é obrigatório.

Tabelas A5 | PARAFUSOS E PINOS CONECTORES

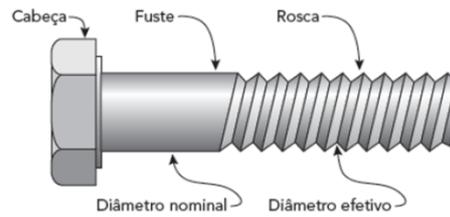
Tabela A5.1 Parafusos Comuns Padrão Americano — Aço ASTM A307 ($f_u = 415 \text{ MPa}$)



Resistência à ruptura por tração

d (pol)	d (cm)	d_n (cm)	Área Bruta (cm^2)	Área do Núcleo (cm^2)	Área Efetiva da Rosca (cm^2)	Esforço Resistente a Corte ¹ (kN)	Esforço Resistente à Tração ² (kN)	L (mm)
1/4	0,64	0,47	0,32	0,17		3,89	7,30	19,0
3/8	0,95	0,75	0,71	0,44		8,76	16,43	25,4
1/2	1,27	1,02	1,27	0,81	0,92	15,58	29,21	31,7
5/8	1,59	1,29	1,98	1,30	1,46	24,34	45,63	38,1
3/4	1,91	1,58	2,85	1,95	2,15	35,05	65,71	44,4
7/8	2,22	1,86	3,88	2,72	2,98	47,70	89,44	50,8
1	2,54	2,13	5,07	3,56	3,91	62,31	116,8	57,1
1 1/8	2,86	2,39	6,41	4,47	4,92	78,86	147,9	63,5
1 1/4	3,18	2,71	7,92	5,74	6,25	97,35	182,5	69,8
1 3/8	3,49	2,95	9,58	6,77	7,45	117,8	220,9	76,2
1 1/2	3,81	3,27	11,40	8,32	9,07	140,2	262,9	82,5
1 3/4	4,45	3,80	15,52	11,23	12,26	190,8	357,8	95,2
2	5,08	4,36	20,27	14,04	16,13	249,2	467,3	107,9
2 1/4	5,72	5,00	25,65	19,49		315,4	591,4	120,6
2 1/2	6,35	5,54	31,67	24,00		389,4	730,2	133,3
2 3/4	6,99	6,19	38,32	29,81		471,2	883,5	146,0
3	7,62	6,83	45,60	36,26		560,8	1051,4	152,4

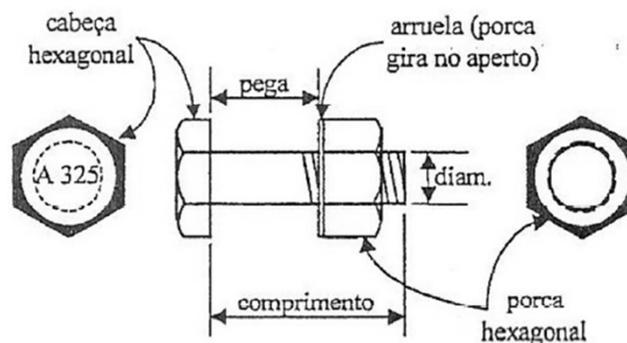
¹ $R_n/\gamma_{ns} = 0,40 A_s f_u / 1,35$ para um plano de corte
² $R_n/\gamma_{ns} = (0,75 A_s)(f_u) / 1,35$



- A instalação é feita com chave manual comum e sem controle de torque;
- Despreza-se a eventual resistência por atrito entre as chapas conectadas, permitindo-se portanto a movimentação entre elas.

2.1.3. Parafusos de Alta Resistência

Os parafusos alta resistência são feitos com aços tratados termicamente. Os tipos mais usuais são o ASTM A325 e o A490, de aço-carbono temperado.

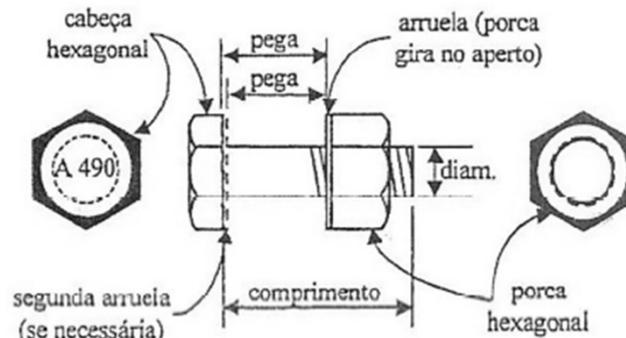


Eles possuem cabeça e porca hexagonal, constando na cabeça a sua especificação.

Os parafusos de alta resistência são adotados em ligações estruturais sujeitas a cargas moderadas e elevadas, estáticas ou dinâmicas.

Para a realização do aperto deve-se usar pelo menos uma arruela sob o elemento que gira (porca), pois isso garantirá o desenvolvimento de um pré-tencionamento consistente e confiável.

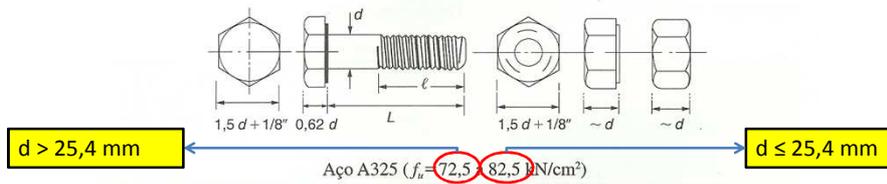
No caso dos parafusos ASTM A490, se eles estiverem conectando materiais com um limite de escoamento inferior a 280MPa, é aconselhável usar arruela sob o elemento que não gira, prevenindo o excessivo esmagamento do material base.



Considerações sobre parafuso de alta resistência:

- São empregados nas ligações de maior responsabilidade;
- O tipo mais utilizado segue a especificação norte-americana ASTM A-325;
- Por causa da maior resistência utilizam-se menos parafusos por ligação, e conseqüentemente menores chapas de ligação;
- Deve ter torque controlado: Após um aperto inicial empregando chave comum, aplica-se o torque, cujo controle pode ser feito por torquímetro ou chave pneumática. Alternativamente, o torque pode ser avaliado controlando-se a rotação da porca.
- O torque aplicado causa uma força normal entre as chapas, permitindo, considerar o atrito entre elas.

Tabela A5.2 Parafusos de Alta Resistência – Padrão Americano — Aço ASTM A325



d (pol)	d (mm)	Área Bruta (cm ²)	L (pol)	P_{min}^3 (kN)	Resistência à Tração ¹ (kN)	Resistência a Corte ² (kN)
1/2		1,27	1	53	58,1	31,0
5/8		1,98	1 1/4	85	90,7	48,4
3/4	16	2,01	1 3/8	91	92,2	49,1
	20	2,85		125	130,6	69,7
7/8	22	3,14	1 1/2	142	144,0	76,8
	24	3,80		176	174,2	92,9
1	27	3,88	1 3/4	173	177,8	94,8
	30	4,52		205	207,3	110,6
1 1/8	36	5,07	2	227	232,2	123,9
	40	5,73		267	230,6	123,0
1 1/4	45	6,41	2 1/4	250	258,3	137,8
	50	7,07		326	284,7	151,8
1 1/2	55	7,92	2 3/4	317	318,9	170,1
	60	10,18		475	410,0	218,7
1 3/4	65	11,40	460	459,2	244,9	

¹ $R_{nt}/\gamma_{ca} = (0,75 A_s)(f_u)/1,35$
² $R_{nt}/\gamma_{ca} = 0,40 A_s f_u/1,35$ para um plano de corte e rosca no plano de corte
³ P_{min} = esforço mínimo de protensão do parafuso.

Tabela A5.3 Parafusos de Alta Resistência – Padrão Americano — Aço ASTM A490

Aço A490 ($f_u = 103,5$ kN/cm²)

d (pol)	d (mm)	Área Bruta (cm ²)	L (pol)	P_{min}^3 (kN)	Resistência à Tração ¹ (kN)	Resistência a Corte ² (kN)
1/2		1,27	1	66	72,8	38,8
5/8		1,98	1 1/4	106	113,8	60,7
3/4	16	2,01	1 3/8	114	115,6	61,7
	20	2,85		156	163,9	87,4
7/8	22	3,14	1 1/2	179	180,6	96,3
	24	3,80		221	218,6	116,6
1	27	3,88	1 3/4	216	223,1	119,0
	30	4,52		257	260,1	138,7
1 1/8	36	5,07	2	283	291,4	155,4
	40	5,73		334	329,2	175,6
1 1/4	45	6,41	2 1/4	357	368,7	196,7
	50	7,07		408	406,4	216,8
1 1/2	55	7,92	2 3/4	453	455,2	242,8
	60	10,18		595	585,3	312,1
1 3/4	65	11,40	659	655,6	349,6	

¹ $R_{nt}/\gamma_{ca} = (0,75 A_s)(f_u)/1,35$
² $R_{nt}/\gamma_{ca} = 0,40 A_s f_u/1,35$ para um plano de corte e rosca no plano de corte
³ P_{min} = esforço mínimo de protensão do parafuso.

2.2. Tipos de conexões com parafusos

- Podem ser de dois tipos:

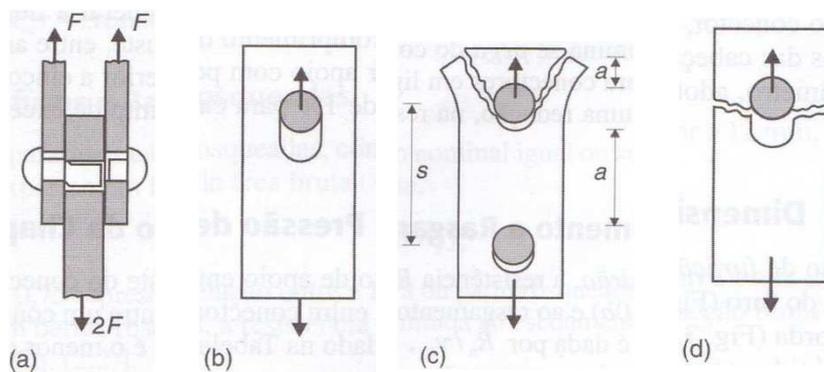
1º) Ligação do tipo **CONTATO**:

- ✓ Podem ser utilizados parafusos comuns ou de alta resistência;
- ✓ Os parafusos são instalados sem aperto controlado (protensão).

2º) Ligação do tipo **ATRITO**:

- ✓ Apenas parafusos de alta resistência;
- ✓ Resistência ao deslizamento diretamente ligada à protensão aplicada aos parafusos.

Modos de falhas possíveis:



- Cisalhamento do corpo do parafuso.
- Deformação excessiva da parede do furo (esmagamento).
- Cisalhamento da chapa (rasgamento).
- Ruptura da chapa por tração na seção líquida.

2.3. Classificação da ligação ao esforço solicitante dos conectores

Uma ligação pode ser identificada pelo tipo de sollicitação que impõe aos conectores.

2.3.1. Ligação do tipo apoio (contato):

Transfere esforços de tração entre as chapas.

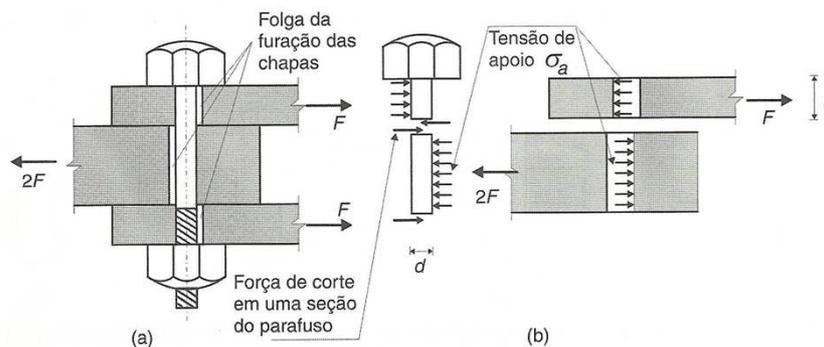
Transmissão ocorre por:

Apoio das chapas no fuste do parafuso

Esforço de corte na seção transversal do parafuso

Tensões supostas uniformes para efeito de cálculo

Ligação do tipo apoio (contato)



Tensão de corte no parafuso: $\tau = \frac{F}{\pi d^2 / 4}$

Esforço transmitido por um conector em um plano de corte

Área da seção transversal do conector

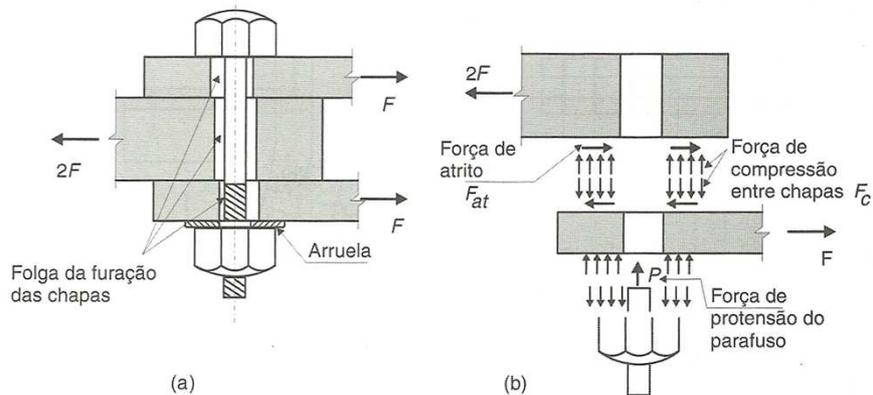
Tensão de apoio do conector na chapa: $\sigma_a = \frac{F}{d t}$

Força transmitida do conector para a chapa

Diâmetro nominal do conector

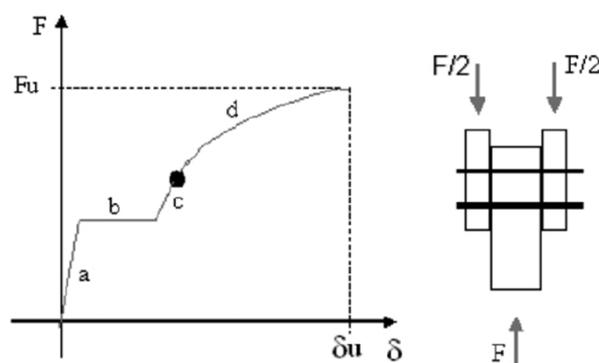
Espessura da chapa

2.2.2. Ligação do tipo atrito:



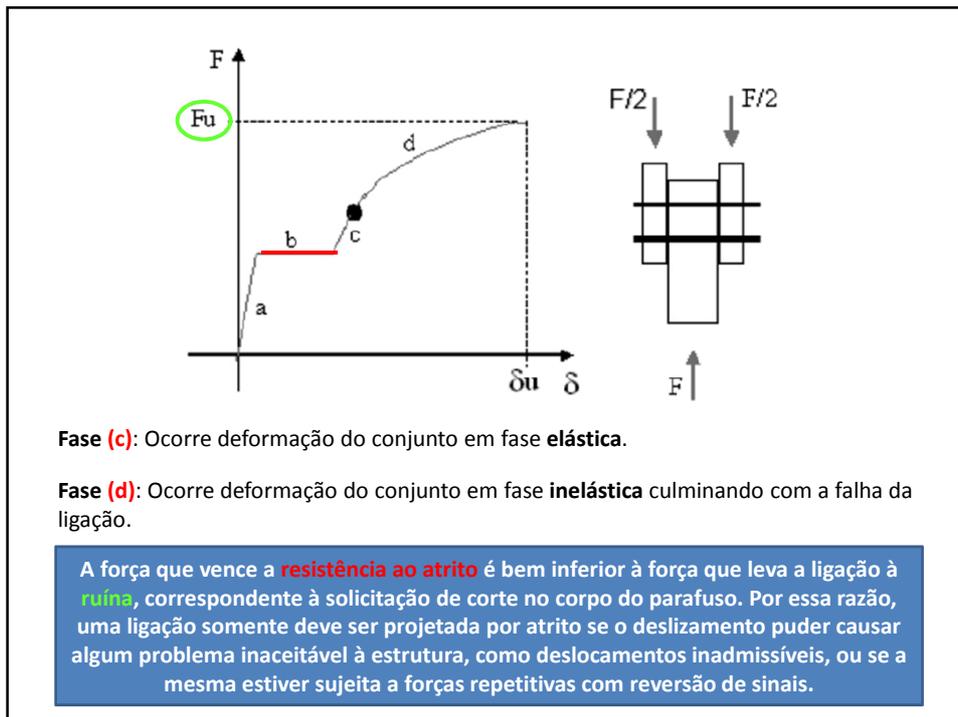
- ✓ A força aplicada não causa deslocamentos entre as chapas e, portanto, não há contato entre elas e o parafuso;
- ✓ A ligação por atrito proporciona maior rigidez e impede a movimentação das partes conectadas;
- ✓ São de particular importância em conexões submetidas a esforços alternados.

Comportamento força-deslocamento relativo de uma ligação constituída por parafusos de alta resistência protendidos:



Fase (a): A força aplicada é menor que a resistência ao deslizamento, ocorrendo apenas deslocamentos provenientes da deformação elástica das chapas.

Fase (b): A força aplicada supera a resistência ao deslizamento e há um deslocamento brusco proveniente da acomodação dos parafusos nos respectivos furos.



2.2.3. Ligação à tração:

✓ Sujeitas aos esforços combinados de tração e força cortante.

✓ Os parafusos devem ser compatíveis com os aços dos elementos ligados.

✓ Exemplo: Elementos estruturais de aços resistentes à corrosão atmosférica, utilizar parafusos ASTM A325 **Tipo 3** com resistência à corrosão atmosférica.

